

Investigação baseada em design para compreender e melhorar as práticas educativas¹

Design-based research to understand and improve the educational practices

João Pedro da Ponte

Renata Carvalho

Joana Mata-Pereira

Marisa Quaresma

Instituto de Educação, Universidade de Lisboa

Introdução

Na Investigação Baseada em Design (IBD)² estudam-se intervenções educacionais tendo em vista promover certas aprendizagens ou mudanças sistémicas e compreender os processos que lhes estão subjacentes (Cobb, Confrey, diSessa, Lehrer, & Schaube, 2003; Gravemeijer & Cobb, 2013). O foco dos estudos pode estar na aprendizagem dos alunos, no ensino realizado pelos professores, na produção de novos currículos ou materiais educativos, na formação de professores, ou em mudanças nos sistemas educativos. Sendo originária das “ciências da aprendizagem” (*learning sciences*), a IBD assume que o conhecimento não se localiza nas pessoas consideradas como indivíduos, mas antes constitui um processo que envolve a pessoa que conhece, o contexto em causa e a atividade em que esta participa (Barab & Squire, 2004). Deste modo, esta investigação tem um duplo objetivo: estudar processos de aprendizagem ou de mudança e a forma de os promover em contextos naturais. Combinam-se assim características de investigação fundamental (desenvolvimento de teorias) e de investigação aplicada na tradição da engenharia (produção de artefactos).

Num artigo recente, Cobb, Jackson e Dunlap (2016) indicam que a IBD se caracteriza por cinco aspetos fundamentais:

1. Incide sobre os problemas que se colocam aos profissionais (professores ou formadores) no seu trabalho de ensino, procurando promover a aprendizagem dos alunos ou de formação dos professores;
2. É baseada em intervenções, para transformar processos que ocorrem no mundo real;

3. Tem simultaneamente uma forte orientação teórica e pragmática;
4. Envolve testar e, se necessário, rever ou rejeitar conjecturas sobre os processos de aprendizagem dos participantes e os meios de os promover;
5. Dada a sua preocupação teórica, visa a generalidade.

Este tipo de investigação é muito atrativo para os investigadores cujo principal interesse é encontrar soluções robustas, eficazes e praticáveis para os problemas educativos. De alguma forma, ela representa um desenvolvimento, no sentido de uma maior sofisticação, relativamente a outras formas de intervenção de base científica usadas em educação, como as experiências de ensino do fim do século XX e os projetos de investigação-ação. Em Portugal, a IBD tem vindo a ser utilizada de modo crescente na educação matemática, em especial em teses de doutoramento (e.g., Branco, 2013; Carvalho, 2016; Mendes, 2012; Mestre, 2014; Silva, 2012; Ventura, 2014). A IBD é também muito atrativa para investigadores com uma forte orientação teórica, pois apoia-se necessariamente no conhecimento aprofundado das teorias existentes, visando a produção de novas teorias, nomeadamente “teorias locais” (Gravemeijer, 2004), que permitam compreender melhor os processos de mudança que decorrem das intervenções realizadas. Capitaliza assim o potencial de aprendizagem, para os investigadores, da introdução de perturbações nos sistemas que se pretende estudar, que, muitas vezes, revelam melhor as suas propriedades mais importantes quando sujeitos a processos de intervenção do que quando se encontram em situação de estabilidade. Para além disso, este tipo de investigação pode ser interessante para os professores empenhados em ultrapassar as dificuldades de aprendizagem dos seus alunos, pode ser apelativa para os administradores escolares que querem melhorar as formas de trabalho e os resultados das suas instituições e pode também ser atrativa para decisores e responsáveis governamentais que procuram desenvolver políticas baseadas na investigação, viáveis de pôr em prática e suscetíveis de conduzir os sistemas educativos a melhores resultados.

Apesar das suas inegáveis potencialidades, trata-se de um tipo de investigação que ainda não é conhecida por muitos investigadores. Interessa por isso passar em revista as suas possibilidades, mas também as suas dificuldades e problemas próprios.

Este artigo tem por objetivo apresentar os aspetos fundamentais da IBD como metodologia de investigação e analisar o modo como tem sido posta em prática em investigações realizadas no nosso país.

A IBD como metodologia de investigação

Origem e desenvolvimento

Embora com raízes identificáveis em tradições diversas de investigação, é geralmente reconhecido que a IBD aparece com os artigos de Brown (1992) e Collins (1992), inspirada nas “ciências do artificial” (Simon, 1981), ou seja, na tradição da engenharia de base científica. Para Brown (1992), a grande motivação era o estudo da aprendizagem

que ocorre “na florescente e ruidosa confusão das salas de aula” (p. 141). No campo das ciências da aprendizagem o surgimento desta abordagem representou um corte muito significativo com a tradição anterior de investigação de tipo experimental. Na sua base esteve a constatação que, particularmente em situações onde se pretendia criar ambientes de aprendizagem inovadores, as teorias existentes não ajudavam muito e os processos de design educativo existentes não resultavam (Prediger, Gravemeijer, & Confrey, 2015).

A investigação numa perspetiva próxima da IBD tem uma longa tradição na educação matemática. Gravemeijer e Cobb (2006) referem-se ao trabalho de “*developmental research*” realizado desde 1971 pelo Instituto Freudenthal (anteriormente designado por IOWO e depois OW&OC), como tendo características muito próximas da IBD. Num artigo publicado ainda no século passado, Witmann (1995) argumentava que a conceção de unidades de ensino e a investigação empírica realizada em torno dessas unidades deveriam assumir uma importância primordial na investigação em educação matemática, que classificava como uma “*design science*”. A engenharia didática da tradição francesa é também muito próxima da IBD na medida em que ambas se ocupam da conceção e avaliação de intervenções educacionais (Artigue, 2015). Nos EUA, a experiência de ensino construtivista (Cobb & Steffe, 1983) pode igualmente ser vista como uma metodologia precursora da IBD³.

Particularmente importantes na afirmação da IBD como metodologia de investigação foram os números temáticos que lhe foram dedicados nas revistas *Educational Researcher* (2003), *Educational Psychologist* (2004), *Journal of the Learning Sciences* (2004) e *Educational Technology* (2005). O estudo de Anderson e Shattuck (2012) mostra que no início deste século, a IBD conheceu um assinalável desenvolvimento. Estas autoras analisaram 47 artigos publicados entre 2002 e 2011, selecionados de entre os mais citados até 5 por ano, procurando identificar as suas características. A maior parte destas intervenções (cerca de 2/3) envolvia o uso de sistemas de ensino a distância ou tecnologias móveis. As conclusões mais salientes diziam respeito ao potencial para melhorar a aprendizagem dos alunos (19 casos) e a uma nova compreensão dos resultados ou contextos educacionais (12 casos). Neste conjunto de artigos, os campos educacionais onde a IBD assumia uma presença mais forte eram, por esta ordem, o ensino das Ciências, os estudos interdisciplinares, o ensino da Matemática, a formação de professores, o ensino das TIC, o ensino de Inglês, a literacia e o ensino vocacional.

Caraterísticas da IBD

Um dos traços mais salientes da IBD é a importância que atribui à teoria. Esta surge como uma importante base de apoio e, sobretudo, como um objetivo a alcançar. A importância do desenvolvimento de novas teorias estava já na mente de Brown (1992), quando idealizou esta abordagem, como ela própria indica: “o meu objetivo [é] trabalhar para o desenvolvimento de um modelo teórico da aprendizagem e do ensino erguido sobre uma firme base teórica” (p. 143). Barab e Squires (2004) indicam que esta autora tinha a “expetativa que os investigadores iriam ajustar sistematicamente os vários aspetos do contexto construído de tal modo que cada ajustamento serviria como um tipo de experimentação que permitiria aos investigadores testar e gerar teorias em contextos

naturalísticos” (p. 3). A importância dada à criação de novas teorias leva autores como diSessa e Cobb (2004) a formularem estratégias para esse efeito:

Um elemento central do tipo de teorização baseado em design em que nos centramos é a “inovação ontológica”, formulando hipóteses e desenvolvendo conceitos explicativos, novas categorias de coisas no mundo que explicam como este funciona. Um critério-chave ao qual aderimos quando discutimos inovações ontológicas é que a teoria deve produzir verdadeiro trabalho de design na criação, seleção e validação de alternativas de design a um nível em que tenham consequências para a aprendizagem. (p. 77)

Gravemeijer e Cobb (2006) argumentam que a IBD pode contribuir de modo decisivo para ultrapassar o fosso que persiste entre a teoria e a prática educacional. Isso acontece porque nesta investigação “o conhecimento científico é baseado na sabedoria profissional ao mesmo tempo que fornece heurísticas que podem reforçar a sabedoria da prática” (p. 46). Numa perspetiva semelhante, Cobb et al. (2003) referem que as experiências realizadas pretendem alcançar um “maior entendimento de uma ecologia da aprendizagem” que definem como “um sistema complexo e interativo, envolvendo múltiplos elementos de diferentes tipos e níveis – através da conceção dos seus elementos e da antecipação como eles funcionam em conjunto para apoiar a aprendizagem” (p. 9). Trata-se, portanto de uma forma de investigação apropriada para abordar a complexidade característica das instituições educativas. Segundo os autores, elementos de uma ecologia de aprendizagem incluem usualmente “as tarefas ou problemas que os alunos são convidados a resolver, os tipos de discurso que são incentivados, as normas de participação estabelecidas, as ferramentas e meios materiais fornecidos e os processos práticos pelos quais os professores podem orquestrar as relações entre esses elementos na sala de aula” (p. 9).

Ciclos na realização de uma IBD

Este tipo de investigação inclui diversos ciclos envolvendo as fases de preparação, realização e análise retrospectiva de uma experiência de design (“*design experiment*”). Cobb et al. (2003) descrevem os principais aspetos relativos à realização de cada uma destas fases, apresentando os seus aspetos mais importantes e os principais desafios que colocam aos investigadores. Assim, relativamente à preparação de uma IBD, indicam que uma questão fundamental “é a de clarificar a sua intenção teórica” (p. 11), bem como as ideias de cunho disciplinar e as capacidades que constituem os objetivos de aprendizagem ou transformação pretendidos. A equipa de investigação tem também de especificar os seus pressupostos sobre “os pontos de partida intelectuais e sociais para as formas de aprendizagem pretendidas” (p. 11). Essencial nesta fase é a elaboração de uma conjectura a ser testada e aperfeiçoada no decurso da investigação. O objetivo não é validar a conjectura mas sim produzir uma conjectura mais forte. Confrey e Lachance (2000) sugerem que esta conjectura pode ter duas dimensões interligadas entre si – de conteúdo e pedagógica – mas o que é essencial é que ela se reporte

aos processos que irão resultar em aprendizagem e que seja efetivamente suscetível de teste e aperfeiçoamento. Tendo em atenção que o objetivo é compreender a ecologia da aprendizagem num determinado contexto, Cobb et al. (2003) indicam ainda que “a equipa de investigação deve gerar múltiplas formas de dados que a documentem adequadamente” (p. 11). Referindo as tarefas fundamentais dos investigadores nesta fase do estudo, Cobb, Jackson e Dunlap (2016) indicam que cabe aos investigadores:

- Especificar os objetivos para a aprendizagem matemática dos alunos ou a aprendizagem profissional dos professores;
- Documentar o ponto de partida dos participantes em termos dos seus conhecimentos e capacidades;
- Especificar o percurso de aprendizagem previsto;
- Colocar o estudo num contexto teórico.

Na fase de realização de uma experiência de design, Cobb et al. (2003) indicam que é fundamental assumir ao longo de todo o processo “uma perspetiva clara dos possíveis percursos de aprendizagem e manter ativos os meios de suporte potenciais” (p. 12) bem como cultivar uma relação de trabalho positiva com os atores no terreno. Na sua perspetiva, não se deve perder de vista que o objetivo é “desenvolver uma compreensão profunda da ecologia de aprendizagem” (p. 12). Tudo isto requer a realização de momentos de reflexão regulares, onde se analisam e interpretam os acontecimentos registados e se planeiam as atividades futuras. Os autores indicam ainda que a credibilidade das conclusões depende em larga medida dos processos como os dados são gerados e salientam a importância da consideração do problema da medida. A este respeito escrevem:

Atender aos processos como os dados são gerados significa atender ao problema da medida. Muita da sabedoria de uma excelente experiência de design reside no modo como a equipa lida com as questões da medida. Um ponto óbvio, mas que é muitas vezes pouco atendido, é que todas as medidas (mesmo observações) são índices para constructos de interesse, não são elas próprias os constructos . . . As medidas são criadas, não são encontradas, e as decisões sobre a criação das medidas estão entre as mais importantes que são tomadas. Um design em tudo o mais irrepreensível não produzirá informação útil acerca do fenómeno de interesse se os problemas de validade do constructo não forem resolvidos com sucesso. Medidas que sejam simples de administrar, e que forneçam valores precisos e fiáveis, podem captar ou não o fenómeno de interesse. As experiências de design precisam de gerar em cada ciclo resultados produtivos para os ciclos subsequentes e, por isso, focam-se em problemas de validade de constructo. (p. 12)

Gravemeijer e Cobb (2006) referem que na fase de realização de uma experiência de design podem ter lugar microciclos de design e análise, que consideram “fundamentais para o processo de teste, melhoria e compreensão” (p. 24). Em cada um desses microciclos, a equipa de investigação procura antecipar o que irá acontecer na sala de aula e

as aprendizagens que irão ocorrer, para, durante as atividades e na reflexão subsequente, analisar os processos que efetivamente tiveram lugar. Daí a importância da presença dos investigadores na sala de aula e das sessões de reflexão imediatas, após cada aula, com o professor participante.

Para Cobb et al. (2003), um objetivo fundamental da análise retrospectiva a realizar no fim de cada ciclo da experiência de design “é colocar a experiência de design num contexto teórico mais amplo, e desse modo encará-la como um caso paradigmático de um fenómeno mais amplo especificado logo deste o início” (p. 13). Para os autores, nesta fase, o grande desafio diz respeito ao modo como se faz a análise da grande quantidade e variedade de dados recolhidos de modo que os resultados sejam credíveis. Na sua perspetiva, uma variedade de competências e de áreas de formação nos membros da equipa de investigação bem como a assunção da responsabilidade principal pela análise de dados por diferentes membros da equipa em diferentes momentos, podem contribuir para que se produza uma variedade de interpretações.⁴

A IBD e outros tipos de investigação

A investigação de tipo experimental (com recurso a metodologias de cunho quantitativo) e a investigação baseada em experiências de ensino (usando sobretudo metodologias de natureza qualitativa) são desde há muito usadas em educação⁵. A IBD partilha com elas o seu carácter de intervenção e a sua orientação para o estudo de inovações educacionais. O que distingue a IBD destes tipos de investigação é que esta é orientada para a produção de novas teorias mais do que para o teste de teorias já existentes ou para a comprovação dos bons resultados a que a inovação supostamente conduz. Deste modo, a IBD assume uma natureza iterativa, com diversos ciclos de planeamento, realização e análise retrospectiva, enquanto a investigação dos tipos indicados decorre habitualmente num só ciclo. Além disso, as variáveis em jogo são conceptualizadas de modo muito distinto nestes diferentes tipos de investigação. Enquanto nos estudos de tipo experimental se dá atenção a um número reduzido de variáveis (e, eventualmente, as suas interações), na IBD, tal como acima referido, dá-se atenção à “ecologia do sistema de aprendizagem”, procurando sobretudo caracterizar situações e atividades promissoras tendo em atenção a complexidade de fatores relevantes que intervêm nesse sistema e condicionam os resultados obtidos. O papel dos participantes no estudo também se diferencia claramente nos diversos tipos de investigação. Enquanto na investigação usual os participantes são “sujeitos” a quem é dado um certo “tratamento”, na IBD estes são encarados como coparticipantes tanto no design como muitas vezes na própria análise de dados (Barab & Squires, 2004). Hjalmarson e Lesh (2008) argumentam que os professores devem ser incluídos na investigação e ter autonomia na sua colocação em prática pois a teoria educacional deve ser acessível às pessoas que irão usar os produtos e processos desenvolvidos pelo design. É ainda de notar que a conceção de materiais e experiências inovadoras em educação tem uma longa tradição, mas usualmente a sua elaboração baseia-se muito mais na experiência, intuição e criatividade dos seus proponentes do que nos seus fundamentos científicos e metodológicos (Gravemeijer & Cobb, 2006). O que a IBD procura trazer de novo é justamente uma base científica para a sua realização.

Variedades de IBD

Na IBD, tanto em educação matemática como noutros domínios, distinguem-se algumas variedades principais, resultantes das orientações teóricas e tradições de investigação das equipas que as empreendem e dos objetos de estudo considerados. Prediger, Gravemeijer e Confrey (2015) indicam que esta investigação diferencia-se segundo (i) os níveis de ensino e instituições, (ii) as razões que estão na base da sua realização, (iii) o tipo de resultados a obter, (iv) a finalidade com que se quer usar esses resultados, (v) a escala do estudo, e (vi) a teoria subjacente. Referindo-se especificamente às escalas onde se situa o foco da equipa de investigação, Van den Akker (2013) refere estudos nos níveis “nano” (relativo a indivíduos e tarefas isolados), “micro” (a salas de aula e unidades de ensino ou de formação), “meso” (como o currículo da escola), “macro” (como o currículo nacional) e “supra” (estudos de âmbito internacional ou comparativos). Depois de passar em revista diferentes tipos de IBD, Prediger, Gravemeijer e Confrey (2015) afirmam que, no essencial, podem distinguir-se duas formas principais desta investigação: (i) visando prioritariamente um uso prático e direto, sejam produtos curriculares ou princípios de design; e (ii) visando acima de tudo a criação de teorias sobre os processos de ensino-aprendizagem, que possam interessar tanto a investigadores como a profissionais.

Focando-nos sobretudo nos objetos de estudo, temos, em primeiro lugar, a IBD na tradição das ciências da aprendizagem, onde, como referimos, teve a sua origem. A sua atenção foca-se sobretudo nas aprendizagens dos alunos. Na interpretação dada por Cobb et al. (2003) é igualmente muito forte a influência das “experiências de ensino” da tradição soviética, introduzidas nos EUA nos anos de 1970 (Cobb & Steffe, 1983).⁶ Esta investigação tende a ser orientada por questões relativas ao ensino de uma disciplina particular e à sua aprendizagem pelos alunos.

Enquadrando-se nesta linha, Stephan e Cobb (2013) descrevem uma investigação realizada por um grupo de professores investigadores (uma das quais tinha bastante experiência anterior como investigadora) por um período de 5 anos com alunos do 7.º ano no tópico da adição e subtração de números inteiros. Através de quatro ciclos de experimentação, formularam uma teoria com seis fases de desenvolvimento envolvendo ferramentas, imaginação, atividades e interesses tomados como partilhados, tópicos possíveis para o discurso matemático e possíveis gestos e metáforas. Como indicam Prediger, Gravemeijer e Confrey (2015), a maior parte das investigações que seguem esta linha têm por base teorias que valorizam o papel ativo dos alunos na aprendizagem, tendo por base o seu trabalho em tarefas estimulantes e promovendo a sua participação individual e coletiva na sala de aula. Segundo os autores, de um modo geral estas investigações assumem que (i) “os alunos são agentes epistémicos que trazem consigo a sua experiência e recursos”; (ii) de modo a perceber a aprendizagem de ideias ou o desenvolvimento de capacidades importantes é preciso um tempo considerável; e (iii) “pensamento e ação são intimamente relacionados e influenciam-se mutuamente [pelo que é necessário] prestar grande atenção ao discurso na sala de aula” (p. 881-882).

Em segundo lugar, temos a IBD virada para o desenvolvimento curricular e a produção de materiais (nomeadamente de índole tecnológica) tal como indicado por McKenney,

Nieveen e Van den Akker (2006). Na sua perspetiva, esta investigação é muitas vezes escolhida para melhorar a compreensão sobre o modo como implementar inovações educativas. Os seus produtos são o conhecimento gerado (usualmente na forma de princípios de design), os produtos curriculares concebidos e o desenvolvimento profissional dos participantes. Esta abordagem envolve a produção de versões sucessivas de intervenções designadas como “protótipos”, sujeitos a um processo de avaliação formativa desenvolvido em várias fases, nomeadamente investigação preliminar, desenvolvimento ou construção do protótipo e avaliação (Plomp, 2013). Um exemplo de investigação orientada para o desenvolvimento curricular é dado por Ruthven e Hofmann (2013) que relatam o desenvolvimento de uma unidade de ensino sobre probabilidades para o 7.º ano. Participaram 11 professores (8 no primeiro ano e 7 no segundo ano) de 5 escolas secundárias. Segundo os autores, o feedback e as sugestões dados pelos professores, bem como a observação e os registos das atividades realizadas nas salas de aula permitiu avaliar a viabilidade do módulo e as adaptações solicitadas pelos professores, de maneira a construir materiais de apoio e de formação tendo em vista a sua utilização. Nas suas conclusões, os autores sublinham a ideia que o design para a generalização em larga escala “tem de ter em consideração o estado atual do sistema – nomeadamente as pessoas, as estruturas, os recursos e as práticas existentes” (p. 422).

Numa outra categoria podemos colocar as IBD viradas para a formação de professores. Cobb, Zhao e Dean (2009) descrevem uma “experiência de desenvolvimento profissional” realizada com um grupo de dimensão variável, entre 9 e 14 professores, todos do 6.º ao 8.º ano, ao longo de 5 anos. Os autores descrevem os desafios conceptuais que enfrentaram. Assim, para situar a atividade dos professores nos contextos institucionais das escolas e distritos escolares em que estes estavam inseridos, os investigadores procuram identificar todos os atores relevantes, as suas agendas e interconexões. Para desenvolver um quadro de análise interpretativo que lhes permitisse registar as aprendizagens realizadas coletivamente pelos diversos grupos de professores estabeleceram um modelo conceitual envolvendo quatro tipos de normas: de participação geral, de raciocínio matemático, de raciocínio pedagógico e de raciocínio institucional. Finalmente, para conceptualizar as relações entre a atividade dos professores nas sessões de desenvolvimento profissional e nas suas salas de aula propuseram uma conceptualização bidirecional dando destaque ao uso de registos da prática de sala de aula e nas atividades de desenvolvimento profissional. As investigações realizadas em Portugal em estudos de aula por Ponte, Quaresma, Mata-Pereira e Baptista (2015) têm sido feitas com inspiração na IBD. Estes estudos de aula desenvolvem-se numa lógica que reproduz as grandes etapas do processo investigativo. A conjectura geral de formação diz respeito à natureza do contexto de trabalho que, no decurso de atividades de cunho exploratório e colaborativo, procura articular conhecimento proveniente da investigação com conhecimento experiencial dos professores. Refinamentos que têm sido introduzidos nesta abordagem ao longo de ciclos sucessivos incluem a negociação inicial com os participantes nos estudos, a valorização explícita dos aspetos relacionados com o raciocínio dos alunos, o modo de organizar planos de aula e as atividades a realizar depois da aula de investigação.

Num quarto grupo podemos colocar os estudos centrados na mudança sistémica. Um exemplo é a realização de quatro experiências de design em distritos escolares de grande dimensão nos EUA que levou Cobb e Jackson (2011) a formular, testar e reformular uma teoria sobre apoios para mudança educacional em larga escala. Os autores indicam que este trabalho foi realizado através de uma colaboração continuada com professores de Matemática, líderes escolares e líderes distritais. A sua teoria (provisória) inclui um “sistema coerente de apoios para um ensino ambicioso que inclui oportunidades de desenvolvimento profissional tanto formais como inseridas na atividade profissional dos professores, redes profissionais, práticas de professores de apoio (*“coaches”*) no suporte à aprendizagem dos professores no seu no dia-a-dia profissional, práticas dos líderes escolares na liderança em Matemática e práticas dos líderes distritais no apoio à capacidade de melhoria educacional ao nível das escolas” (p. 6).

Críticas e dificuldades

Críticas

As principais críticas que são feitas à IBD dizem respeito à dificuldade em assegurar o seu rigor científico, nomeadamente em dois aspetos: (i) a dificuldade do investigador em fazer uma análise crítica rigorosa, dado o seu forte envolvimento na conceção, realização e avaliação da experiência que serve de base à recolha de dados (Barab & Squire, 2004) e (ii) a falta de isolamento de um conjunto reduzido de variáveis que permita a sua medição rigorosa e a identificação das relações que têm entre si. No fundo, o primeiro problema diz respeito à distância que o investigador mantém com o objeto de estudo, o que, sendo um problema real, pode ser circunscrito por mecanismos artificiais de distanciamento (Ponte, 2002). Pode também argumentar-se que este problema tem o seu reverso, constituindo a proximidade entre investigadores e objeto de estudo um importante trunfo para o sucesso da investigação (Anderson & Shattuck, 2012). O segundo problema, o isolamento de variáveis e a sua medição, requer um cuidadoso planeamento e uma abordagem especial aos processos de recolha e análise de dados, que constitui inegavelmente um importante desafio para as equipas de investigação, mas, segundo Cobb et al. (2003) pode igualmente ser lidado com sucesso.

Outra crítica relativamente ao rigor científico diz respeito ao modo pouco claro como muitas vezes é feita a análise de dados e se tiram conclusões numa IBD. Na verdade em muitos estudos (tanto em IBD como noutras tradições de investigação) o modo como se fazem inferências a partir dos dados é muitas vezes difuso. Em relação a este problema, Cobb, Jackson e Dunlap (2016) reconhecem que a IBD precisa de ter uma “gramática argumentativa” que leve dos dados às conclusões de um estudo. Assim propõem que os investigadores: (i) mostrem que os participantes não teriam desenvolvido as aprendizagens ou capacidades pretendidas se não tivesse ocorrido o estudo; (ii) ilustrem como essas aprendizagens ou capacidades emergiram como reformulação de conhecimentos ou capacidades pré-existentes; e (iii) identifiquem os aspetos do ambiente de aprendizagem que foram essenciais para o desenvolvimento das aprendizagens em causa.

Também surge por vezes a crítica que é impossível prosseguir em simultâneo o duplo objetivo de elaborar um produto e proporcionar novos desenvolvimentos teóricos. Prediger, Gravemeijer e Cobb (2016) consideram que esta crítica tem origem na noção clássica de causalidade baseada na verificação de regularidades e contrapõem-lhe a noção de causalidade orientada para os processos, segundo a qual o que é importante é identificar os mecanismos que levam certa relação causal a ocorrer. Finalmente, estes autores indicam que, para defender a qualidade científica da IBD têm de ser estabelecidos critérios, nomeadamente “o papel das teorias, a relevância das questões e resultados para as salas de aula e os sistemas educacionais; a validade (ecológica), fiabilidade, transparência, intersubjetividade dos métodos empíricos” (p. 884).

Dificuldades

Muitos dos estudos de IBD têm uma especial dificuldade na elaboração de uma conjectura de ensino-aprendizagem, de formação ou de transformação sistémica apropriada e, como consequência, reportam resultados mais ou menos positivos sobre a aprendizagem mas dizem pouco sobre os processos que lhe deram origem, ficando assim muito aquém de um dos principais desígnios deste tipo de investigação. Deve ter-se em atenção que uma IBD não se reduz a uma simples sequência de tarefas ou ações a realizar. É necessária uma conjectura de ensino-aprendizagem que constitua uma afirmação ou conjunto de afirmações suscetíveis de serem testadas pela realização da experiência. A estratégia de formular uma conjectura relativa ao conteúdo e outra conjectura relativa à metodologia sugere uma via analítica que raramente é produtiva. Mais que uma coleção de tópicos a ensinar e uma listagem de perspectivas de ensino, o que é importante é a caracterização de um pequeno núcleo de grandes ideias capazes de inspirar teoricamente o trabalho a realizar e que sejam suscetíveis de serem efetivamente testadas. Cobb et al. (2003) chamam a atenção para a importância da formulação apropriada desta conjectura, no quadro de experiências de ensino, ao referirem “quando os pontos de partida previstos, os elementos do percurso, e os pontos de chegada pretendidos foram especificados, o desafio é formular um design que inclui conjecturas testáveis acerca de mudanças significativas no raciocínio dos alunos e os meios específicos de apoiar essas mudanças” (p. 11). Evidentemente, um desafio equivalente verifica-se em IBD realizadas noutros contextos educativos.

O estudo de ecologias de aprendizagem ao longo de toda uma intervenção requer a recolha de um grande volume de dados. Organizar e analisar esses dados constitui uma séria dificuldade deste tipo de estudos, como de resto foi assinalado desde logo por Brown (1992). Duas estratégias fundamentais para lidar com este problema situam-se no planeamento, com a especificação mais ajustada possível das questões de interesse e dos meios de recolha de dados, e a reflexão recorrente, durante a recolha de dados, que sinaliza eventos potencialmente importantes, que podem ser geradores de mudanças substanciais na conjectura formulada e indicadores de novos desenvolvimentos teóricos.

Uma dificuldade importante, em países como Portugal, tem a ver com os recursos que é possível mobilizar. Em muitos estudos realizados nos EUA, as IBD envolvem equipas onde participam um coordenador da investigação⁷, outros investigadores e assistentes

de investigação. Muitas vezes, os próprios participantes no terreno (professores, responsáveis escolares) fazem igualmente parte da equipa de investigação. Mas nem sempre estes recursos estão disponíveis, como tem acontecido nos trabalhos de doutoramento e mestrado, onde as equipas são necessariamente mais reduzidas incluindo o doutorando ou mestrando, o seu orientador (que acompanha o trabalho em tempo parcial) e, por vezes, um professor na sala de aula. Mesmo com equipas reduzidas é possível realizar trabalhos de IBD de boa qualidade se houver boa capacidade de planeamento e uma boa rentabilização dos (escassos) recursos disponíveis.

Outro problema, associado ao anterior, é a questão do tempo disponível. Para realizar uma IBD, com vários ciclos, são necessários vários anos de conceptualização, design, experimentação, análise de dados, nova conceptualização e assim por diante. Isto é muito difícil de enquadrar nas restrições temporais de um trabalho num doutoramento e ainda mais num mestrado. No entanto, já não o é se os trabalhos de mestrado ou doutoramento forem feitos no quadro de um programa mais amplo conduzido por um investigador responsável.

Trabalhos portugueses de IBD

Na Didática da Matemática em Portugal, a IBD tem sido usada, nos últimos anos, em diversos trabalhos de doutoramento e mestrado realizados no Instituto de Educação da Universidade de Lisboa, identificados a partir do Repositório científico da Universidade de Lisboa. Referimos aqui aqueles trabalhos onde, de forma explícita, os autores assumem esta metodologia de investigação, assinalando o seu objetivo, quadro teórico, ciclos de investigação, principais resultados e conjectura de ensino-aprendizagem. Em cada um dos trabalhos analisados procuramos destacar os contributos, pontos fortes e pontos fracos à luz das considerações feitas na primeira parte deste artigo, tendo em vista refletir sobre a forma como a IBD tem sido concebida e operacionalizada. Começamos pelos estudos baseados em unidades de ensino e de seguida analisamos estudos que se realizam ao longo de um semestre ou ano letivo.

IBD com unidades de ensino

O estudo realizado por Silvestre (2012) tinha como objetivo compreender como se desenvolve o raciocínio proporcional dos alunos durante uma unidade de ensino constituída por problemas e tarefas de cunho investigativo/exploratório, com utilização da folha de cálculo e de trabalho em grupo na sala de aula. A unidade de ensino estava organizada em torno de cinco fichas de trabalho e dois testes (diagnóstico e final), tendo sido realizada pela investigadora em colaboração com duas professoras de duas turmas do 6.º ano com um total de 51 alunos.

O quadro teórico baseia-se principalmente nos trabalhos do Rational Number Project e na teoria de Vergnaud. O estudo envolveu três ciclos de experimentação, sendo o primeiro em 2006 (no âmbito do mestrado), com o desenvolvimento da primeira versão da unidade de ensino. No ciclo seguinte, a autora realizou ajustamentos à conjectura

de ensino-aprendizagem inicial e concebeu algumas tarefas novas. O segundo ciclo de experimentação, em 2007/08, é um estudo piloto com o objetivo de avaliar as tarefas propostas e também as condições necessárias ao desenvolvimento da unidade de ensino. No terceiro ciclo, em 2008/09, reportado em Silvestre (2012), a recolha de dados é realizada por observação participante com gravação áudio e vídeo, recolha documental e entrevistas. O grupo colaborativo discutiu a preparação de tarefas e sua realização na sala de aula com especial atenção para os papéis do aluno e do professor.

A análise dos dados centra-se no percurso de aprendizagem de quatro alunos do terceiro ciclo de experimentação, dois de cada turma. Os resultados evidenciam que, antes da unidade de ensino, em situações que envolvem relações de proporcionalidade direta, os alunos usam frequentemente estratégias não proporcionais e pré-proporcionais na resolução de problemas de valor omisso e usam estratégias proporcionais na resolução de problemas de comparação, recorrendo a várias representações (especialmente pictóricas e razão). Durante e no final da unidade de ensino os alunos usam principalmente estratégias proporcionais recorrendo a novas representações (tabelas e linguagem natural escrita). A unidade de ensino permitiu aos alunos melhorarem a sua capacidade para distinguir relações de proporcionalidade direta de outras relações, embora nem sempre com sucesso. No final do estudo a autora apresenta a sua conjectura de ensino-aprendizagem reformulada, segundo a qual, para desenvolver o raciocínio proporcional de alunos de 6.º ano, estes devem: (i) explorar a natureza multiplicativa da relação de proporcionalidade direta, reforçando o seu conhecimento sobre covariação de grandezas e invariância de relações em certas condições; (ii) resolver problemas envolvendo relações de proporcionalidade direta (de valor omisso e comparação) e problemas pseudoproporcionais; e (iii) trabalhar em simultâneo com diferentes representações (tabelas, gráficos, razão na forma de fração, razão como divisão). Aspectos salientes deste trabalho são a formulação explícita de uma conjectura final de ensino-aprendizagem que consubstancia a teoria local emergente, a realização de testes diagnóstico e final, a colaboração com duas professoras que assumiram a responsabilidade pela lecionação das aulas e a realização de três ciclos de experimentação, o que valoriza a validade ecológica do estudo. Como ponto menos claro, regista-se a não indicação dos reajustamentos que a conjectura de ensino aprendizagem foi sofrendo ao longo do estudo.

O trabalho de Ventura (2014) tinha como objetivo compreender a evolução dos alunos de uma turma de 5.º ano na aprendizagem do conceito de número racional. Na sua base está uma unidade de ensino que procura criar um contexto favorável ao estabelecimento de conexões entre as várias representações dos números racionais, através de uma sequência de tarefas matemáticas que promove o uso da barra numérica. O estudo, realizado no ano letivo de 2008/09, envolveu os 20 alunos da turma e a respetiva professora. Destes alunos, quatro foram selecionados para estudos de caso.

No quadro teórico sobressaem ideias da educação matemática realista, nomeadamente relativas ao uso de modelos, com destaque para a barra numérica. A experiência de ensino é baseada numa conjectura com dimensões de conteúdo e pedagógica. Esta conjectura assume que os alunos desenvolvem a compreensão do conceito de número racional ao realizarem tarefas de natureza exploratória, em contextos familiares e propícios ao uso

da barra numérica, que envolvam várias representações (pictórica, frações, decimais e percentagens) e significados dos números racionais, suas conexões e diferentes tipos de grandezas. A autora assume ainda que o desenvolvimento desta compreensão é promovido pelas oportunidades dadas aos alunos para discutirem e argumentarem sobre as suas estratégias, em pequeno grupo e em coletivo. A experiência de ensino decorreu em 3 fases e é constituída por 11 tarefas, tendo sido planeada e realizada em colaboração com a professora participante. Na primeira a experiência foi planeada. Na segunda foi sendo ajustada de acordo com as reflexões e análises preliminares realizadas em conjunto com a professora participante sobre as tarefas e os resultados da sua realização. Os dados foram recolhidos pela investigadora como observadora participante das aulas e das reuniões de trabalho com a professora, sendo também recolhidas as produções dos alunos. Na terceira fase, os dados foram analisados de forma retrospectiva.

Para a autora, a conjectura de ensino-aprendizagem revelou ter potencialidades nas duas dimensões. Os resultados apontam para uma evolução na aprendizagem do conceito de número racional evidenciada pela capacidade dos alunos resolverem problemas envolvendo os significados de parte-todo, quociente, operador e medida, com as suas múltiplas representações e conexões, mostrando flexibilidade no uso da unidade de referência e para trabalhar com o valor de posição. Na sua perspetiva, o uso da barra numérica fez com que esta se transformasse de “modelo de” em “modelo para” raciocinar, recorrendo os alunos espontaneamente a ela para a resolução das tarefas. Observa, contudo, que no final os alunos ainda evidenciam dificuldades na compreensão do significado de razão e na concetualização da unidade em situações envolvendo o significado de operador. Neste estudo, que apenas envolveu um ciclo de experimentação é de registar como ponto positivo a colaboração com uma professora. No entanto, não é claro qual é a conjectura inicial e como esta foi sendo reformulada na experiência com base nas reflexões efetuadas.

Tendo também por base uma unidade de ensino, Cerca (2014), num trabalho de mestrado, procurou compreender como pode ser desenvolvido o raciocínio relacional dos alunos do 3.º ano. O quadro teórico decorre sobretudo dos estudos sobre a *early algebra* realizados nos EUA. A autora realizou um estudo piloto com uma turma do 3.º ano, tendo como objetivo compreender a reação dos alunos e o seu raciocínio perante as tarefas apresentadas e identificar possíveis dificuldades na sua resolução. Para o estudo principal realizou reajustamentos nas tarefas da unidade que foi planificada pela investigadora e discutida em conjunto com a professora. A unidade decorreu em 8 sessões sendo constituída por 6 tarefas e dando especial importância às relações de igualdade e desigualdade e à capacidade de generalização a partir de expressões envolvendo quantidades desconhecidas. A primeira sessão destinou-se a uma avaliação diagnóstica, para perceber que conhecimentos os alunos possuem sobre os sinais de igual e de maior e que estratégias usam para resolver expressões numéricas. Seguiu-se a realização das 6 tarefas e no final foi realizado um teste escrito para avaliar as aprendizagens realizadas. Participam neste estudo uma professora e 16 alunos do 3.º ano e a investigadora como observadora participante, sendo as aulas lecionadas pela investigadora e a recolha de dados realizada através de recolha documental, diário de bordo e registos áudio e vídeo.

Os resultados mostram que os alunos melhoraram a sua compreensão das relações de igualdade e desigualdade, evidenciando perceber as ligações que se estabelecem entre cada membro de uma expressão. As suas estratégias mostram o uso de raciocínio relacional, não sentindo necessidade em recorrer a cálculos para realizar as tarefas. No entanto, as generalizações que surgem são desenvolvidas, na grande maioria, no momento de discussão coletiva com alguma orientação da professora e os alunos mostram dificuldades em justificar as suas ideias sem recorrer a exemplos concretos. A unidade de ensino mostrou-se adequada para alcançar os objetivos propostos e o estudo evidencia que a dinâmica de sala de aula é muito importante para o desenvolvimento do raciocínio relacional dos alunos. É de notar que apesar do curto horizonte temporal, este trabalho envolve dois ciclos de experimentação (estudo piloto e estudo principal) tendo havido ajustamentos em algumas tarefas. De sublinhar, também, a realização de um teste inicial e final sobre as capacidades dos alunos no raciocínio relacional. No entanto, neste trabalho não é formulada uma conjectura explícita.

Estudos envolvendo intervenções prolongadas

No seu trabalho, Mendes (2012) procura compreender como alunos do 3.º ano evoluem na aprendizagem da multiplicação e analisa as potencialidades de diversas sequências de tarefas, tendo em vista o desenvolvimento do sentido de número. Trata-se de uma experiência de ensino realizada ao longo do ano letivo de 2008/09 com 23 alunos do 3.º ano e a sua professora. Esta experiência de ensino inclui uma trajetória de aprendizagem que foi sendo adaptada e melhorada ao longo do seu desenvolvimento, sendo norteadas por uma conjectura envolvendo dimensões de conteúdo e pedagógica. A dimensão do conteúdo relaciona-se com grandes ideias, estratégias e modelos acerca da aprendizagem da multiplicação numa perspetiva de desenvolvimento de sentido de número. A dimensão pedagógica envolve a construção e desenvolvimento de uma cultura de sala de aula favorecedora do trabalho individual, de pares e de interação e a partilha entre alunos e contempla também sequências de tarefas promotoras da compreensão da multiplicação pelos alunos. A experiência de ensino é constituída por 11 sequências de tarefas (33 tarefas no total). A autora formula uma teoria local de ensino que inclui objetivos de aprendizagem, antecipação de atividades de ensino (ações do professor, dos alunos e da turma) e o papel das ferramentas e das imagens na sequência de aprendizagem prevista.

O estudo contemplou as fases de preparação, experimentação e análise retrospectiva. Na preparação foram identificados os aspetos teóricos considerados relevantes, que se reportam sobretudo a ideias relativas ao sentido de número e da educação matemática realista. Foram ainda definidos os objetivos do estudo e realizada a planificação de tarefas e a antecipação das resoluções e raciocínios dos alunos. Durante a experimentação, em reuniões semanais, a investigadora empreendeu em conjunto com a professora um processo cíclico de “redesenhar” e adaptar tarefas à medida que estas iam sendo realizadas pelos alunos, analisando os procedimentos por estes usados. Segundo a autora, estes microciclos de *design* e análise acabaram por dar origem à trajetória de aprendizagem.

Os dados foram recolhidos das aulas observadas e das reuniões de trabalho com a professora da turma, sendo ainda realizada recolha documental. Na última fase, a investigadora analisou a globalidade dos dados e confrontou-os com a teoria e com os objetivos do estudo complementando o primeiro nível de análise.

De acordo com a autora, os resultados evidenciam que os alunos recorrem a uma grande diversidade de estratégias e de procedimentos para realizar um mesmo cálculo em tarefas de multiplicação. Usam com maior frequência certos procedimentos e a evolução dos seus procedimentos mostra avanços e recuos, parecendo estar relacionada com as características das tarefas (contextos, números e sua articulação e sequenciação) e com o ambiente da aula. A par da evolução de procedimentos, os alunos mostram desenvolver o sentido de número. No final, a autora considera que os resultados sustentam a conjectura inicial, apresenta uma proposta de reorganização das componentes do sentido de número e reflete sobre o modo de as operacionalizar na sala de aula. Aspetos marcantes deste trabalho, que se desenvolve ao longo de um único ciclo, são o período prolongado da intervenção, a colaboração estreita com a professora da turma, que assumiu a responsabilidade da lecionação, a realização de microciclos de planeamento e reflexão e a formulação de uma teoria local de aprendizagem. A autora afirma que a conjectura de ensino-aprendizagem inicial foi validada, mas não esclarece em que aspetos foi a trajetória de aprendizagem adaptada e melhorada ao longo da experiência.

Pelo seu lado, Branco (2013) procura compreender o desenvolvimento do pensamento algébrico de futuros professores e educadores e do seu conhecimento da didática da Álgebra nos primeiros anos de escolaridade bem como analisar o desenvolvimento da sua identidade profissional. Este estudo tem por base uma experiência de formação numa unidade curricular de Álgebra, de carácter exploratório, na formação inicial de professores, assumindo a autora o papel de professora-investigadora. O estudo é orientado por uma conjectura de formação que contempla dois aspetos que considera fundamentais na formação do futuro professor—o desenvolvimento do seu conhecimento, integrando conteúdo e pedagogia, e da sua identidade profissional. Os objetivos principais da experiência de formação são proporcionar o desenvolvimento do conhecimento matemático dos formandos e dar-lhes a oportunidade de contactarem com os objetivos curriculares para o tema da Álgebra. Visa também discutir aspetos fundamentais do pensamento algébrico a desenvolver com futuros alunos e analisar interpretações e significados por eles atribuídos e dificuldades que revelam. Finalmente, pretende identificar possíveis aspetos a trabalhar com os alunos e o modo de o fazer para que estes compreendam os conceitos envolvidos. Os dados foram recolhidos em 2009/10, com recurso a observação participante, gravação vídeo e áudio, questionários, entrevistas e documentos diversos. Participaram no estudo 20 formandos que frequentavam o 3.º ano da Licenciatura em Educação Básica, sendo a análise focada no trabalho realizado por três destes formandos, assumidos como estudos de caso. A autora indica que a análise de dados teve início logo após o primeiro momento de recolha de dados. Esta análise preliminar continuada foi importante, segundo indica, para tomar decisões ao longo da experiência de formação uma vez que permitiu a realização de ajustamentos no que se refere a tópicos a realçar ou

a explorar, revisitando continuamente a conjectura de formação. No final da experiência de formação realizou uma análise global aprofundada dos dados.

Os resultados evidenciam que a realização de tarefas que articulam conteúdo e pedagogia numa perspectiva de abordagem exploratória contribuem para a evolução da capacidade dos formandos de generalizarem, de expressarem essa generalização, e de agirem sobre essa generalização, ainda que de modo pouco expressivo. Verifica-se uma evolução significativa relativamente ao conhecimento dos formandos acerca do ensino da Álgebra nos primeiros anos, com foco no desenvolvimento do pensamento algébrico dos alunos nas diferentes vertentes, embora de modo diferente nos três casos analisados. A articulação entre as vertentes conteúdo e pedagogia contribuiu igualmente para o desenvolvimento da identidade profissional das três formandas, evidenciando uma maior identificação com a prática do professor dos primeiros anos. Aspetos marcantes deste trabalho são a formulação de uma teoria local de formação para o desenvolvimento do pensamento algébrico e do conhecimento de didática da Álgebra nos futuros professores e educadores. Esta experiência de ensino passou a constituir prática corrente de formação na instituição onde foi criada, tendo influenciado a prática de outras instituições. No entanto, não é dada a conhecer a evolução da conjectura de formação ao longo do estudo, que envolveu apenas um ciclo de experimentação, parecendo que esta foi sobretudo validada.

No ano seguinte, Mestre (2014) apresenta-nos um estudo visando compreender como se desenvolve a capacidade de generalização dos alunos de uma turma de 4.º ano, no decurso de uma experiência de ensino realizada ao longo de um ano letivo, numa perspectiva de desenvolvimento do pensamento algébrico. A experiência é constituída por 41 tarefas e orientada por uma conjectura que contempla uma dimensão do conteúdo, assente numa definição de pensamento algébrico em duas dimensões (pensamentos relacional e funcional) e uma dimensão pedagógica centrada no ensino exploratório, em tarefas matemáticas e numa perspectiva dialógica de construção do conhecimento matemático. Das tarefas realizadas, foram selecionadas nove para uma análise de dados mais aprofundada, tendo em vista apresentar uma trajetória de aprendizagem promotora do desenvolvimento do pensamento algébrico dos alunos. A autora assumiu o papel de professora-investigadora com observação participante, mas desenvolveu o trabalho em colaboração com a professora titular da turma e 18 alunos do 4.º ano. Como instrumentos de recolha de dados recorreu a gravações áudio e vídeo, recolha documental e entrevistas clínicas. A realização da experiência de ensino contemplou três fases. A primeira incluiu diagnóstico da situação de partida e o desenho da experiência de ensino, a segunda refere-se à realização da experiência de ensino na sala de aula e a terceira envolveu a avaliação da experiência. A autora assumiu a importância de uma análise e reflexão contínua acerca das atividades de ensino ao longo da realização da experiência, para reavaliar e desenhar as tarefas matemáticas e para traçar o percurso de aprendizagem dos alunos, bem como para adaptar a conjectura à realidade vivida na sala de aula.

Segundo a autora, os resultados do estudo evidenciam que a capacidade de generalização dos alunos evoluiu de casos particulares para casos gerais, com crescente abstração do contexto específico das situações propostas e progressiva apropriação da representação

simbólica. O estudo mostrou que esta evolução tem avanços e recuos, estando dependente das características das tarefas. A autora realça ainda a pertinência das duas dimensões da sua conjectura e a interdependência entre os pensamentos relacional e funcional: a exploração da variação de quantidades, numa perspetiva relacional da aritmética, conduz à emergência da noção de variável e, num nível mais sofisticado, à relação de dependência entre variáveis. Como aspetos a realçar deve notar-se o diagnóstico da situação de partida e a análise e reflexão contínua ao longo da experiência. Note-se que neste caso a conjectura parece não ter sofrido evolução, mantendo-se igual do início ao fim da experiência. Note-se, também, que a colaboração com a professora titular da turma foi bastante limitada.

Carvalho (2016) procurou compreender as estratégias e erros dos alunos do 6.º ano em tarefas de cálculo mental e a sua evolução ao longo de uma experiência de ensino centrada na realização de tarefas de cálculo mental com números racionais positivos, envolvendo as quatro operações em contextos matemáticos e não matemáticos e a discussão das estratégias. Participam neste estudo duas professoras e duas turmas do 6.º ano de diferentes escolas, num total de 39 alunos. A recolha de dados centrou-se na observação direta e participante da investigadora, com gravação vídeo e áudio das aulas, áudio das reuniões de preparação/reflexão com as professoras, recolha documental, notas de campo e entrevistas.

O estudo contemplou as fases de preparação, experimentação e análise. A preparação envolveu uma revisão de literatura e um estudo preliminar (em 2011), com alunos do 5.º ano da investigadora, baseado num protótipo de experiência de ensino com 6 tarefas de cálculo mental. Ainda nesta fase foi construída uma experiência de ensino com 10 tarefas de cálculo mental em contextos matemáticos (expressões) e não matemáticos (situações contextualizadas). A intenção era testar tarefas e conhecer as dinâmicas inerentes ao desenvolvimento do cálculo mental dos alunos. Assumia-se que a realização destas tarefas contribuiria para o desenvolvimento do repertório de estratégias de cálculo mental dos alunos e para a melhoria gradual do seu desempenho. Posteriormente, foram realizados dois ciclos de experimentação, um em 2012 e outro em 2013, durante os quais se reajustou a conjectura de ensino-aprendizagem, a ordem das tarefas e forma de gestão da discussão na sala de aula. No início do segundo ciclo de experimentação a conjectura formulada era que os alunos do 6.º ano desenvolvem estratégias de cálculo mental quando as tarefas envolvem diversos contextos e diferentes representações de um número racional, bem como diferentes níveis de exigência cognitiva, e se promove a discussão coletiva das estratégias dos alunos para partilhar e discutir os seus erros, e construir um conjunto de relações numéricas para aumentarem o seu repertório de estratégias.

A análise retrospectiva foi sendo realizada ao longo do estudo, iniciando-se no estudo preliminar e culminando com a avaliação da experiência de ensino. As três fases do estudo foram acompanhadas por uma reflexão da investigadora com as professoras participantes nas reuniões de preparação/reflexão nos dois ciclos de experimentação. Esta reflexão, conjugada com a continuação da revisão de literatura, permitiu aprofundar a conjectura de ensino-aprendizagem e melhorar a experiência de ensino, que evoluíram ao longo de todo o estudo.

As conclusões evidenciam que os alunos recorrem maioritariamente a estratégias de relações numéricas em todas as representações dos números racionais. Além disso, os alunos

recorrem a diversas representações mentais, nomeadamente, a representações proposicionais envolvendo relações numéricas, embora também se identifiquem modelos mentais e imagens. As suas estratégias começam por ser mais focadas em factos e regras, na representação fracionária, para evoluir para estratégias de relações numéricas com as quatro operações dos números racionais, usando tanto a representação em fração como a decimal e a percentagem. Neste estudo é de salientar a realização de um estudo preparatório e dois ciclos de experimentação. É de notar igualmente o papel dos professores que colaboraram tanto na lecionação das aulas como na sua preparação e reflexão sobre o desenvolvimento da experiência. A realização do estudo em duas escolas diferentes confere validade ecológica acrescida.

Conclusão

A IBD constitui um recurso metodológico relativamente recente para a investigação em educação matemática, com potencialidades interessantes para investigar certos tipos de problemas e produzir resultados relevantes (Akkerman, Bronkhorst, & Zitter, 2013). Na área da aprendizagem dos números e da álgebra no 1.º e 2.º ciclos e também na formação inicial de professores, estes estudos ajudaram a transpor para a realidade portuguesa teorias e perspetivas teóricas que se encontram em consonância com uma perspetiva de ensino exploratória (Ponte, 2005) e que ajudam a perceber como planear e conduzir nesta perspetiva o processo de ensino-aprendizagem e a formação inicial de professores.

No entanto, a IBD é uma metodologia exigente, em termos dos recursos necessários e sobretudo na capacidade de planeamento e de elaboração teórica das equipas de investigação. Os estudos realizados até ao momento em Portugal são particularmente valiosos pelas unidades de ensino, tarefas e outros materiais produzidos, embora muitos destes tenham escassa visibilidade para os potenciais utilizadores (em especial, os professores e os formadores de professores). Não se evidencia na maior parte dos casos a produção de teorias locais particularmente originais ou inovadoras. Tal como acontece em estudos realizados noutros países (Cobb, Jackson, & Dunlap, 2016), nos estudos portugueses, por vezes, não chegam a ser formuladas conjecturas de ensino-aprendizagem ou de formação que possam ser consideradas teorias locais. Noutros casos são formuladas conjecturas, mas a lógica subjacente parece ser mais de “validar” que de “refutar” e “aprofundar”.

A análise que apresentamos sugere que é importante reforçar a qualidade teórica dos estudos dando mais relevo a esta vertente no seio das equipas de investigação, de modo a explicitar com mais clareza as conjecturas iniciais de ensino-aprendizagem, a sua transformação e também a sua formulação final. É também possível reforçar a sua qualidade científica dando mais atenção ao diagnóstico das condições de partida (já presente em diversos estudos) e aos processos de aprendizagem ou formação que ocorrem nos contextos estudados. Em vez de apostar em experiências de ensino com um único ciclo e que decorrem ao longo de um ano letivo, será certamente mais promissor realizar experiências de ensino de menor duração e realizar vários ciclos de experimentação. Finalmente, é possível reforçar a validade ecológica dos estudos estabelecendo relações de trabalho mais fortes com professores no

terreno, integrando-os de forma mais profunda nas equipas de investigação. Os estudos portugueses que analisámos, realizados com recursos muito limitados e em condições por vezes adversas, nem sempre integram todas as características da IBD. Apesar disso, mostram que se trata de metodologia de investigação promissora e potencialmente geradora de ideias e produtos educacionais de qualidade e com capacidade de inserção nas práticas educativas. Com o seu aperfeiçoamento dos seus procedimentos metodológicos e da capacidade de elaboração teórica associada a estes estudos, tal como indicam Cobb, Jackson e Dunlap (2016), muito haverá a esperar deste tipo de investigação.

Notas

- ¹ Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia por meio de bolsas atribuídas a Renata Carvalho (SFRH/BD/69413/2010), a Joana Mata-Pereira (SFRH/BD/94928/2013) e a Marisa Quaresma (SFRH/BD/97702/2013).
- ² Em inglês esta investigação tem sido designada por vários termos, sendo os mais usados *Design-Based Research*, *Design Research*, *Design Studies*, *Design Experiments* e *Developmental Research*. Em português tem sido principalmente usada a designação *Design Research* mas esta é causadora de confusão com *research design*, um elemento fundamental em toda a investigação empírica. Por isso, propomos a designação “Investigação Baseada em Design” (IBD).
- ³ Prediger, Gravemeijer e Confrey (2015) descrevem diversos programas de investigação, tanto nos EUA como na Europa, que, de um ou outro modo, contribuíram para o surgimento da IBD.
- ⁴ Uma discussão sobre as questões que se colocam em cada uma das fases de uma experiência de design encontra-se em Gravemeijer e Cobb (2006). Indicações específicas para a realização de uma experiência e sobre os modos de a relatar à comunidade científica encontram-se em Collins, Joseph e Bielaczyc (2004).
- ⁵ A comparação entre diferentes tipos de investigação é feita por Collins, Joseph e Bielaczyc (2004) e Barab e Squire (2004).
- ⁶ O termo “experiência de ensino” acomoda dois significados próximos – a “experiência de ensino”, onde se procura pôr em prática uma inovação educacional para verificar os seus efeitos na aprendizagem e a viabilidade da sua utilização (o que constituía um tipo de investigação muito comum no século XX) e uma “experiência de ensino” realizada no quadro de uma IBD. É o contexto onde se insere que esclarece qual o sentido do termo.
- ⁷ Cobb et al. (2003) recomendam vivamente que o coordenador da IBD assuma um forte envolvimento no estudo, com participação direta na atividades que ocorrem no terreno.

Referências

- Akkerman, S.F., Bronkhorst, L.H., & Zitter, I. (2013). The complexity of educational design research. *Quality and Quantity*, 47, 421-439.
- Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education research? *Educational Researcher*, 41(1), 16-25.
- Artigue, M. (2015). Perspectives on design research: The case of didactical engineering. In A. Bikner-Ahsbabs, C. Knipping, & N. Presmeg (Eds.), *Approaches to qualitative research in mathematics education* (pp. 467-496). Dordrecht: Springer.
- Barab, S., & Squire, K. (2004). Design-based research: Putting a stake in the ground. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 1-14.

- Branco, N. (2012). *O desenvolvimento do pensamento algébrico na formação inicial de professores dos primeiros anos* (Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa).
- Brown, A. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *The Journal of the Learning Sciences*, 2(2), 141-178.
- Carvalho, R. (2016). *Cálculo mental com números racionais: um estudo com alunos do 6.º ano de escolaridade* (Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa).
- Cerca, M.R. (2014). *O desenvolvimento do raciocínio relacional através das relações de igualdade e desigualdade: Uma experiência de ensino no 3.º ano* (Dissertação de mestrado, Universidade de Lisboa).
- Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R., & Schaube, L. (2003). Designing experiments in educational research. *Educational Researcher*, 32(1), 9-13.
- Cobb, P., & Jackson, K. (2011). Towards an empirically grounded theory of action for improving the quality of mathematics teaching at scale. *Mathematics Teacher Education and Development*, 13(1), 6-33.
- Cobb, P., Jackson, K., & Dunlap, C. (2016). Design research: An analysis and critique. In L. D. English & D. Kirshner (Eds.) *Handbook of international research in Mathematics Education* (Third edition, pp. 481-503). New York, NY: Routledge.
- Cobb, P., & Steffe, L. P. (1983). The constructivist researcher as teacher and model builder. *Journal for Research in Mathematics Education*, 14(2), 83-94.
- Collins, A. (1992). Toward a design science of education. In E. Scanlon & T. O'Shea (Eds.), *New directions in educational technology*. Berlin: Springer.
- Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design research: Theoretical and methodological issues. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15-42.
- Confrey, J., & Lachance, A. (2000). Transformative teaching experiments through conjecture-driven research design. In A. Kelly & R. Lesh (Eds.), *Handbook of research design in mathematics and science education* (pp. 231-266). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- diSessa, A.A., & Cobb, P. (2004). Ontological innovation and the role of theory in design experiments. *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 77-103.
- Gravemeijer, K. (2004). Local instructional theories as means of support for teachers in reform mathematics education. *Mathematical Thinking and Learning*, 6(2), 105-128.
- Gravemeijer, K., & Cobb, P. (2013). Design research from the learning design perspective. In T. Plomp & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research, Part A: An introduction* (pp. 72-113). Enschede: SLO.
- Hjalmarson, M.A., & Lesh, R. (2008). Design research: Engineering, systems, products, and processes for innovation. In L. English (Ed.), *International research in mathematics education (2nd ed.)* (pp. 520-534). New York, NY: Rutledge.
- McKenney, S., Nieveen, N., & Van den Akker, J. (2006). Design research from a curriculum perspective. In J. Van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney, & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research* (pp. 67-90). London: Routledge.
- Mendes, M.F. (2012). *A aprendizagem da multiplicação numa perspetiva de desenvolvimento do sentido de número: Um estudo com alunos do 1.º ciclo* (Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa).
- Mestre, C. (2014). *O desenvolvimento do pensamento algébrico de alunos do 4.º ano de escolaridade: Uma experiência de ensino* (Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa).
- Plomp, T. (2013). Educational design research: An introduction. In T. Plomp & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research, Part A: An introduction* (pp. 10-51). Enschede: SLO.
- Ponte, J.P. (2002). Investigar a nossa própria prática. In GTI (Ed.), *Reflectir e investigar sobre a prática profissional* (pp. 5-28). Lisboa: APM.
- Ponte, J.P. (2005). Gestão curricular em Matemática. In GTI (Ed.), *O professor e o desenvolvimento curricular* (pp. 11-34). Lisboa: APM.

- Ponte, J.P., Quaresma, M., Mata-Pereira, J., & Baptista, M. (2015). Exercícios, problemas e explorações: Perspetivas de professoras num estudo de aula. *Quadrante*, 24(2), 11-134.
- Prediger, S., Gravemeijer, K., & Confrey, J. (2015). Design research with a focus on learning processes – an overview on achievements and challenges. *ZDM Mathematics Education*, 47(6), 877-891.
- Silvestre, A.I. (2012). *O desenvolvimento do raciocínio proporcional: Percursos de aprendizagem de alunos do 6.º ano de escolaridade* (Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa).
- Simon, H. (1981). *As ciências do artificial*. Lisboa: Arménio Amado.
- Stephan, M., & Cobb, P. (2013). Teachers engaging in mathematics design research. In T. Plomp & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research—Part B: Illustrative cases* (pp. 277-298). Enschede: SLO.
- Van den Akker, J. (2013). Curricular development research as a specimen of educational design research. In T. Plomp & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research—Part A: An introduction* (pp. 52-71). Enschede: SLO.
- Van den Akker, J., Gravemeijer, K., McKenney, S., & Nieveen, N. (2006). Introducing educational design research. In J. Van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney, & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research*. London: Routledge.
- Ventura, H. (2014). *A aprendizagem dos números racionais através das conexões entre as suas representações: uma experiência de ensino no 2.º ciclo do ensino básico* (Tese de doutoramento, Universidade de Lisboa).
- Wittmann, E. (1995). Mathematics education as a 'design science'. *Educational Studies in Mathematics*, 29, 355-374.

Resumo. Na Investigação Baseada em Design (IBD) estudam-se intervenções educacionais para promover certas aprendizagens ou mudanças sistémicas e compreender os processos subjacentes. O foco dos estudos pode estar na aprendizagem dos alunos, na prática dos professores, na produção de currículos ou materiais educativos, na formação de professores, ou em mudanças organizacionais. Esta metodologia de investigação tem grandes potencialidades para produzir resultados relevantes para a prática educativa mas também tem dificuldades e problemas próprios. Neste artigo apresentamos a IBD como metodologia de investigação, referindo a sua origem e desenvolvimento, principais características, os ciclos de experimentação, relações com outros tipos de investigação e principais variedades. Indicamos, também, as críticas que lhe são feitas e as dificuldades na sua realização. Finalmente, analisamos o modo como tem sido posta em prática em investigações realizadas em Portugal em Didática da Matemática nos estudos onde os autores assumem esta metodologia de investigação assinalando as principais características, contributos e pontos fortes e pontos fracos destes estudos. Concluímos que estes estudos têm dado contributos significativos para a produção de conhecimento, mas é importante que aperfeiçoem os seus procedimentos metodológicos e a capacidade de elaboração teórica de modo a produzirem resultados mais robustos e suscetíveis de integração nas práticas educativas.

Palavras-chave: IBD; design; metodologia de investigação; Didática da Matemática.

Abstract. In Design-Based Research (DBR) one studies educational interventions to promote learning or systemic change and to understand the underlying processes. The focus of studies may be on students' learning, teachers' practice, development of curriculum or of educational materials, professional development, or organizational change. This research has great potential to produce relevant results for educational practice but also has its own difficulties and problems. In this article we present DBR as a research methodology, indicating its origin and development, main features, experimentation cycles, the relationships between DBR and other kinds of research and its main varieties. We also review the critiques made to DBR and the difficulties in carrying it out. Finally, we analyze the way how it has been put into practice in research carried out in Portugal in Didactics of Mathematics in studies in which the authors assume this research methodology. We point the main features, contributions, and strong and weak points

of these studies for the production of knowledge. We conclude by indicating that it is important that researchers improve the methodological procedures and the capacity of theoretical elaboration in order to produce more robust results that may be integrated into educational practice.

Keywords: IBD; design; research methodology; Didactics of Mathematics.

■ ■ ■

JOÃO PEDRO DA PONTE

Instituto de Educação, Universidade de Lisboa

jpponte@ie.ulisboa.pt

RENATA CARVALHO

Instituto de Educação, Universidade de Lisboa

renatacarvalho@campus.ul.pt

JOANA MATA-PEREIRA

Instituto de Educação, Universidade de Lisboa

joanamatapereira@campus.ul.pt

MARISA QUARESMA

Instituto de Educação, Universidade de Lisboa

mq@campus.ul.pt

(recebido em janeiro de 2016, aceite para publicação em junho de 2016)